

**AGENCE D'ESSAI FERROVAIRE**



**RAPPORT**

**CAMPAGNE DE MESURE DE QUALITE DE L'AIR PENDANT  
DEUX SEMAINES EN GARE DE LA DEFENSE**

**DOC047580-00 / MES017696**

## AGENCE D'ESSAI FERROVIAIRE

21, avenue du Président Allende  
F - 94407 Vitry sur Seine CEDEX – France  
affaire.aef@sncf.fr  
TEL : +33 (0)1 47 18 84 11 / FAX : + 33 (0)1 47 18 84 00

### Laboratoire Matériaux - Environnement - Structure

**Destinataire :**

**DIRECTION DES GARES D'ILE DE FRANCE**  
A l'attention de SCHWANGER Emilie  
34 RUE DU CDT RENE MOUCHOTTE  
75014 Paris  
France

## CAMPAGNE DE MESURE DE QUALITE DE L'AIR PENDANT DEUX SEMAINES EN GARE DE LA DEFENSE

**Résumé :**

L'Agence d'Essai Ferroviaire a réalisé une campagne de mesure de qualité de l'air au sein de la gare de La Défense. Les mesures ont porté sur les concentrations en particules PM10 et PM2,5, en métaux et en dioxyde de carbone pendant deux semaines entre le 11 novembre et le 03 décembre 2017.

Il a été mis en évidence une relation entre les teneurs en particules, la fréquentation et le trafic ferroviaire.

Le niveau d'empoussièrement en PM10 et PM2,5 en gare de La Défense est intermédiaire par rapport à ceux observés dans les gares de Magenta et Saint Michel Notre Dame.

Concernant les métaux, le fer est très largement prédominant, ce qui est caractéristique des enceintes ferroviaires souterraines.

#### Elaboration du rapport

Rédacteur

Nom : EL MOUDEN Leïla  
Fonction : Technicienne supérieure

Vérificateur

Nom : ARRIGONI Vincent  
Fonction : Coordinateur technique

#### Approbation du rapport

Nom : DUPONT Laurent  
Fonction : Responsable de pôle

**Avertissement :**

Les résultats présentés dans ce document ne se rapportent qu'aux produits soumis à l'essai, suivant les conditions indiquées dans son contenu.

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

**SUIVI DES MODIFICATIONS**

Version	Date de publication	Motivation et Objet de la Modification	Paragraphe(s) concerné(s)
Version 00	Indiquée sur la signature numérique		

**La dernière version Annule et Remplace les versions précédentes**

**DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE EXTERNE AEF**

Références	Intitulé
	Sans objet

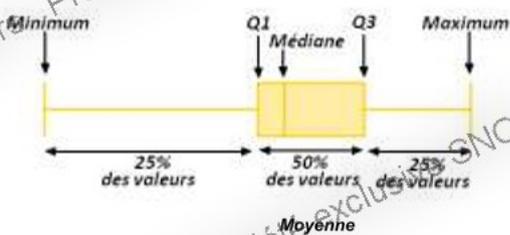
**DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE INTERNE AEF**

Références	Intitulé
DOC044936-01	Offre – Assistance technique et mesure de qualité de l'air dans les gares souterraines et mixtes d'Ile de France - 2017

**SYMBOLES ET ABRÉVIATIONS**

Symboles (unités)	Définitions
$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Micro gramme par mètre cube
$\text{ng}/\text{m}^3$	Nano gramme par mètre cube

**DÉFINITIONS**

Termes	Définitions
PM10	Particule de diamètre aérodynamique inférieur à 10 micromètres ( $\mu\text{m}$ )
PM2,5	Particule de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 micromètres ( $\mu\text{m}$ )
Boîte à moustache	<p>Une boîte à moustache est un graphique représentant la répartition d'une série statistique. Ce traitement statistique de données permet de représenter plusieurs informations :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La médiane : valeur qui coupe l'ensemble des données en deux parties égales (50% des données sont au-dessus de la médiane et 50% des données sont en-dessous de cette valeur) ;</li> <li>- La moyenne de l'ensemble des données ;</li> <li>- Les percentiles 25 (Q1) et 75 (Q3) qui correspondent aux extrémités de la boîte et qui contiennent 50% des données ;</li> <li>- Les minima et maxima aux extrémités des moustaches.</li> </ul> 

## SOMMAIRE DU RAPPORT:

<b>1 - OBJET</b> .....	<b>6</b>
<b>2 - METHODOLOGIE</b> .....	<b>6</b>
2.1 - Descriptif de la gare .....	6
2.2 - Polluants mesurés .....	6
2.3 - Moyens de mesure .....	7
2.4 - Points de mesure .....	7
2.5 - Période de mesure .....	7
<b>3 - RESULTATS ET COMMENTAIRES</b> .....	<b>8</b>
3.1 - Concentrations en particules PM10 et PM2,5 .....	8
3.2 - Concentrations en métaux .....	15
3.3 - Concentrations en dioxyde de carbone .....	19
<b>4 - CONCLUSION</b> .....	<b>20</b>
<b>ANNEXES</b> .....	<b>21</b>
<b>SOMMAIRE DES ANNEXES</b> .....	<b>22</b>

## **1 - OBJET**

La Direction des Gares d'Ile de France a sollicité l'Agence d'Essai Ferroviaire afin de réaliser des campagnes de mesures de qualité de l'air au sein des gares souterraines et mixtes d'Ile de France.

Ce rapport présente les résultats de ces mesures de concentration en particules PM10 et PM2,5, en métaux et en dioxyde de carbone pour les quais de la gare de La Défense. Ces mesures visent à caractériser l'air sur les quais d'un point de vue santé publique.

## **2 - METHODOLOGIE**

### **2.1 - Descriptif de la gare**

La gare de La Défense se situe au nord-ouest de Paris, dans le département des Hauts-de-Seine. Elle se divise en deux parties. La première est exploitée par la SNCF et desservie par les trains des lignes L et U du Transilien. La seconde est exploitée par la RATP et desservie par le RER A, la ligne 1 du métro et la ligne 2 du tramway.

Un descriptif détaillé de la gare de la Défense est donné en **annexe 1**.

Il est important de noter que, durant la période de mesure, des travaux ont eu lieu dans la gare dans le cadre du projet Eole (prolongement du RER E vers l'Ouest), avec toutefois un faible impact apparent sur les mesures et prélèvements réalisés.

### **2.2 - Polluants mesurés**

Les mesures de qualité de l'air ont porté sur les polluants suivants :

- Concentration en particules PM10 et PM2,5 ;
- Concentration en métaux ;
- Concentration en dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>).

Les mesures ont porté sur les concentrations en particules PM10 et PM2,5, principaux polluants susceptibles d'être présents dans les enceintes ferroviaires souterraines (EFS). Ces particules peuvent pénétrer dans l'appareil respiratoire et se déposer au niveau des alvéoles pulmonaires pour la fraction la plus fine (PM2,5).

Les concentrations en arsenic, antimoine, cadmium, chrome, cuivre, fer, manganèse, nickel, plomb et zinc ont été déterminées par prélèvements de particules PM10.

Les métaux choisis sont majoritairement des traceurs du trafic ferroviaire.

Ces particules proviennent essentiellement de l'usure des matériaux engendrée par la friction roue-frein, le contact roue-rail et le contact entre le matériel roulant et le système d'alimentation électrique. Les voyageurs (usure des vêtements, des chaussures, des sols) sont également source de particules. Les travaux de maintenance et l'air extérieur sont aussi une source de pollution dans les gares souterraines.

Le CO<sub>2</sub> est un bon traceur de la fréquentation des gares par les voyageurs car il est émis par la respiration.

### 2.3 - Moyens de mesure

Les concentrations en particules PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> ont été mesurées en continu à l'aide d'un analyseur TEOM 1405-D (Tapered Element Oscillating Microbalance). Le principe de mesure consiste en une variation de fréquence d'un élément conique oscillant supportant un filtre, en fonction de la quantité de poussière aspirée et se déposant sur ce dernier.

Les concentrations en métaux ont été déterminées par prélèvement de particules PM<sub>10</sub> sur filtre avec un préleveur séquentiel PARTISOL PLUS. Les filtres ont été analysés par spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS) afin de déterminer la concentration en arsenic, antimoine, cadmium, chrome, cuivre, fer, manganèse, nickel, plomb et zinc.

Les mesures de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) par infrarouge non dispersif, de température et d'humidité relative ont été effectuées avec un analyseur Q-Trak.

L'ensemble des appareils a été disposé dans une baie de mesure.

### 2.4 - Points de mesure

L'ensemble des mesures de polluants a été réalisé en un point. Ce point a été positionné au milieu du quai n°2 (desservant les voies 2 et 4). Il est positionné sur le plan de la gare en annexe 1.

### 2.5 - Période de mesure

La campagne de mesure des particules PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> a été réalisée du samedi 18 novembre au dimanche 3 décembre 2017 inclus.

Cette période de mesure comprend trois week-ends (samedi et dimanche) et dix jours ouvrés, soit seize jours.

La fréquence d'acquisition des appareils de mesure de particules PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> et dioxyde de carbone a été programmée à quinze minutes.

Concernant les concentrations en métaux, les prélèvements ont été réalisés du passage du 1<sup>er</sup> train jusqu'au dernier train pour cinq journées. Ces prélèvements ont été effectués le lundi 13, le mardi 14, le mercredi 15, le jeudi 16 et le vendredi 17 octobre 2017 (soit la première semaine de mesure en continu), de 05h10 à 01h10.

### 3 - RESULTATS ET COMMENTAIRES

#### 3.1 - Concentrations en particules PM10 et PM2,5

##### 3.1.1 - Niveaux observés en gare de La Défense

Le traitement des données de concentrations moyennes horaires en particules est présenté sous forme de boîte à moustache, pour la période de mesure, sur la figure 1.

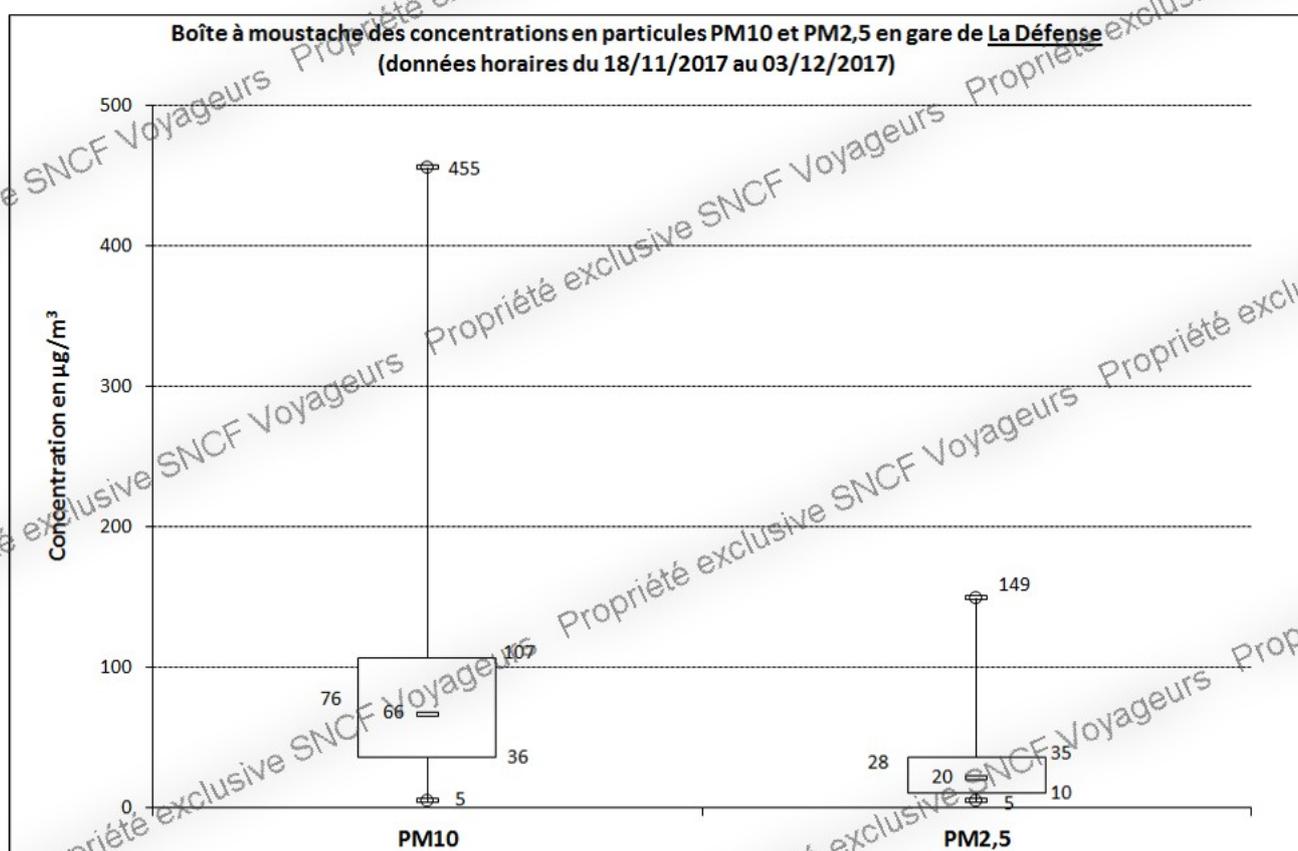


Figure 1

Ce graphique montre que la valeur médiane est de  $66 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les concentrations en PM10 et de  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les PM2,5, sur la totalité de la période de mesure disponible.

La concentration moyenne est de  $76 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les PM10 et de  $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les PM2,5. La proportion de particules PM2,5 dans les particules PM10 est de 37% en moyenne.

La moitié des concentrations en PM10 est comprise entre 36 et  $107 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , avec des extrêmes à 5 et  $455 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . De même, la moitié des concentrations en PM2,5 est comprise entre 10 et  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  avec des extrêmes à 5 et  $149 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ceci montre des variations de concentration assez importantes pour les PM10.

### 3.1.2 - Variabilité temporelle

La concentration moyenne horaire en particules PM10 et PM2,5 en fonction du temps est représentée sur la figure 2 ci-dessous pour l'ensemble des données de la campagne de mesure.

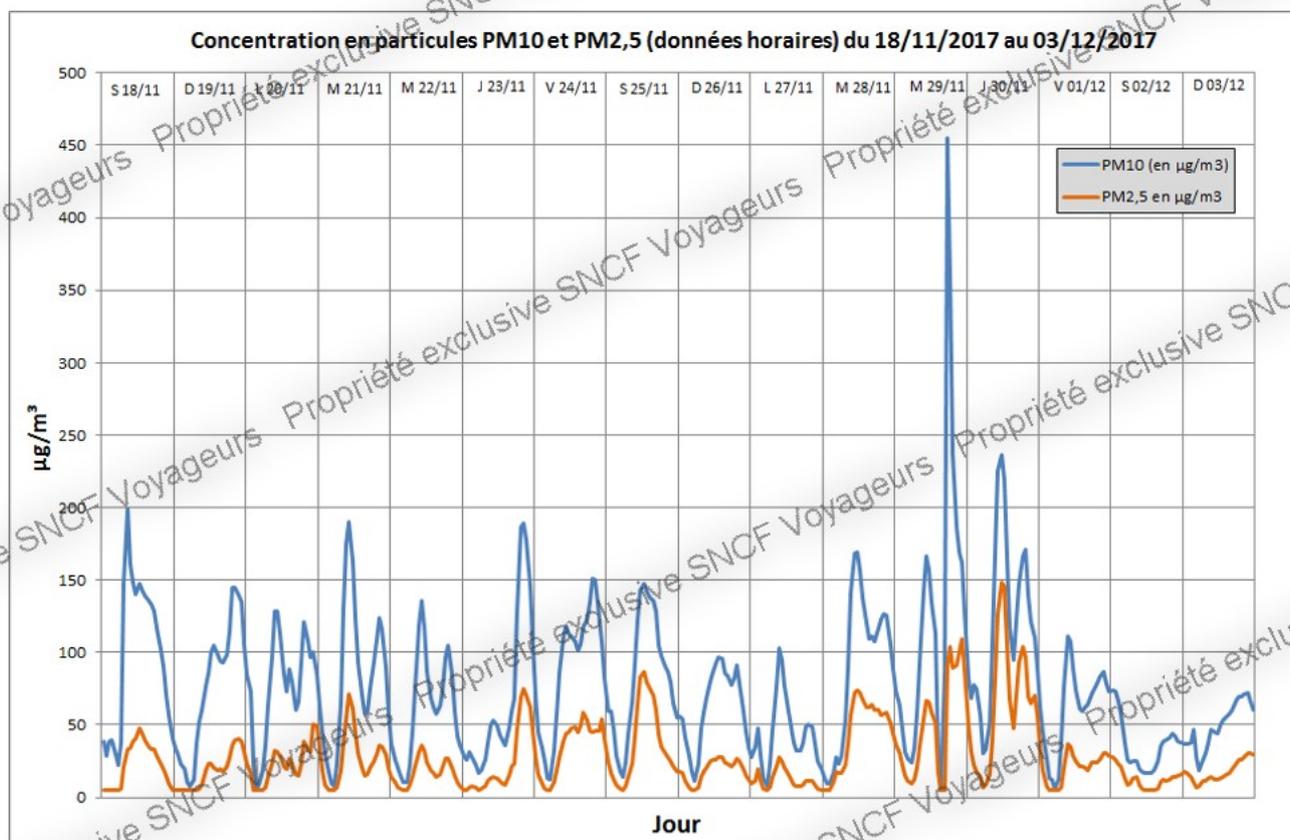


Figure 2

A l'échelle de la semaine, les niveaux sont légèrement plus faibles les jours de week-end (excepté celui du 02 et 03/12) par rapport aux jours ouvrés (du lundi au vendredi), exceptés le lundi 27/11 et le vendredi 01/12.

En effet, le week-end des samedi 02/12 et dimanche 03/12 présente des concentrations en particules nettement plus faibles que pour les deux week-ends précédents. Cette différence peut s'expliquer par l'interruption de la circulation des trains (ligne L) entre Paris Saint-Lazare et La Défense sur l'ensemble des journées du samedi 02/12 et dimanche 03/12, en raison de travaux de renouvellement de voie et ballast.

Le lundi 27/11 et le vendredi 01/12 sont des journées qui présentent des niveaux de concentrations plus faibles que les autres jours ouvrés observés, avec des maxima légèrement supérieurs à 100 µg/m<sup>3</sup>. Pour cause, le lundi 27/11, un incident de signalisation a entraîné le ralentissement du trafic de la ligne L jusqu'à 20h. De même, le vendredi 01/12, le trafic de la ligne L a été ralenti durant la matinée suite à la panne d'un train en gare de Puteaux. Concernant la ligne U, un mouvement social a réduit l'offre à 1 train sur 2 sur l'ensemble de la journée du 1<sup>er</sup> décembre.

Par ailleurs, une hausse significative de la concentration en particules PM10 est observée le mercredi 29/11 et dont les causes n'ont pas pu être déterminées.

Les concentrations moyennes pour chaque période sont reprises dans le tableau 1 ci-dessous.

	Concentration moyenne <u>jours ouvrés</u> (du lundi au vendredi)	Concentration moyenne <u>jours de week-end</u> *
Concentration en particules PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	82	80
Concentration en particules PM2,5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	32	24

\* à l'exception du week-end des samedi 02/12 et dimanche 03/12 durant lequel la circulation a été interrompue sur la ligne L

Tableau 1

Ainsi, la différence de niveaux moyens en particules entre la semaine et le week-end est peu marquée. Il est à noter que le nombre de circulation de trains varie entre les jours de semaine et de week-end. En effet, le trafic théorique en gare de La Défense lors de la campagne de mesure était de 421 trains par jour pour les journées du lundi au vendredi 357 trains le samedi et 293 trains le dimanche ; soit une diminution de plus de 15% entre la semaine et le week-end. Cependant, la gare de La Défense reste un lieu très fréquenté, y compris le week-end (centres commerciaux ...).

A l'échelle du jour, les concentrations en particules sont plus élevées aux heures d'ouverture de la gare qu'aux heures de fermeture.

En période d'ouverture de la gare, deux pointes par jour, d'amplitude variable, se distinguent globalement de la période creuse. Ceci est illustré par les profils journaliers moyens pour les jours ouvrés pour les PM10 et les PM2,5 sur les figures 3 et 4 ci-dessous. Il s'agit de la moyenne par tranche horaire pour l'ensemble des jours ouvrés (du lundi au vendredi).

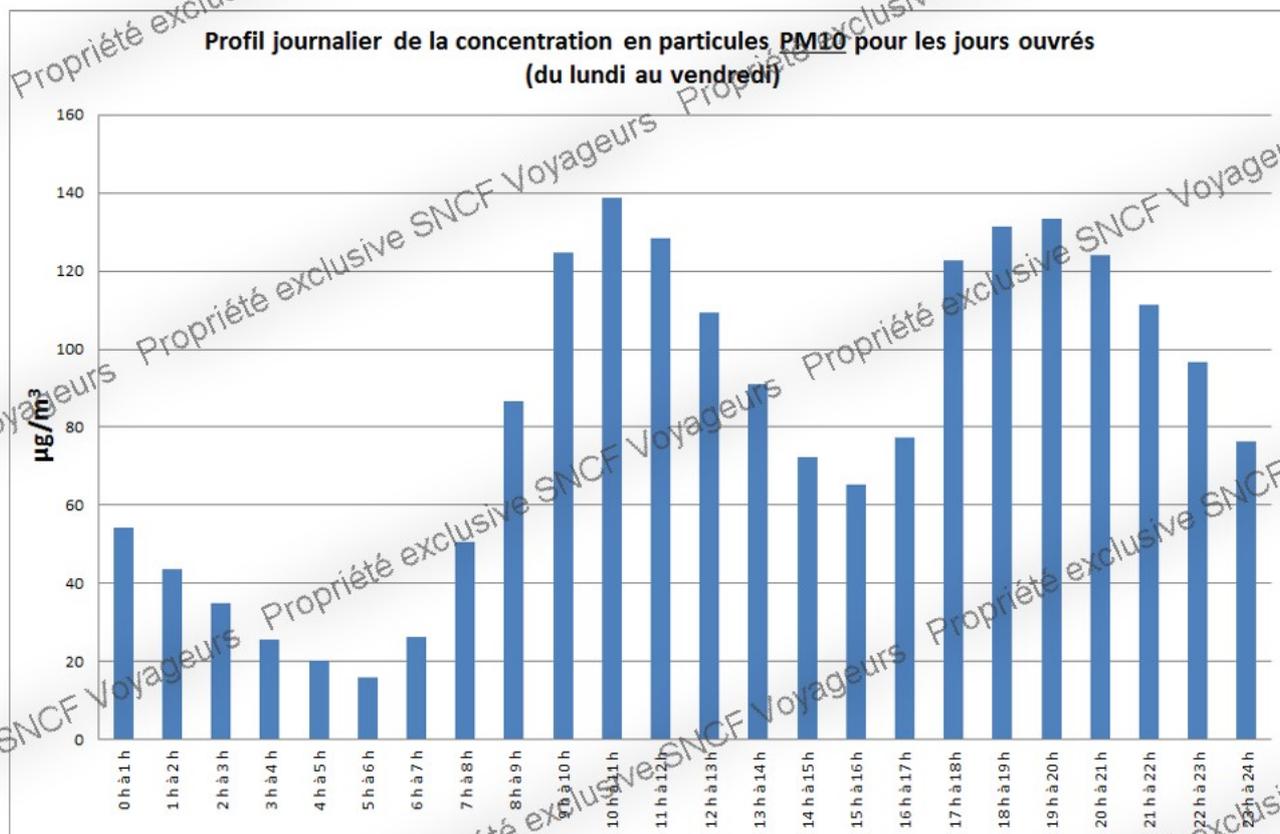


Figure 3

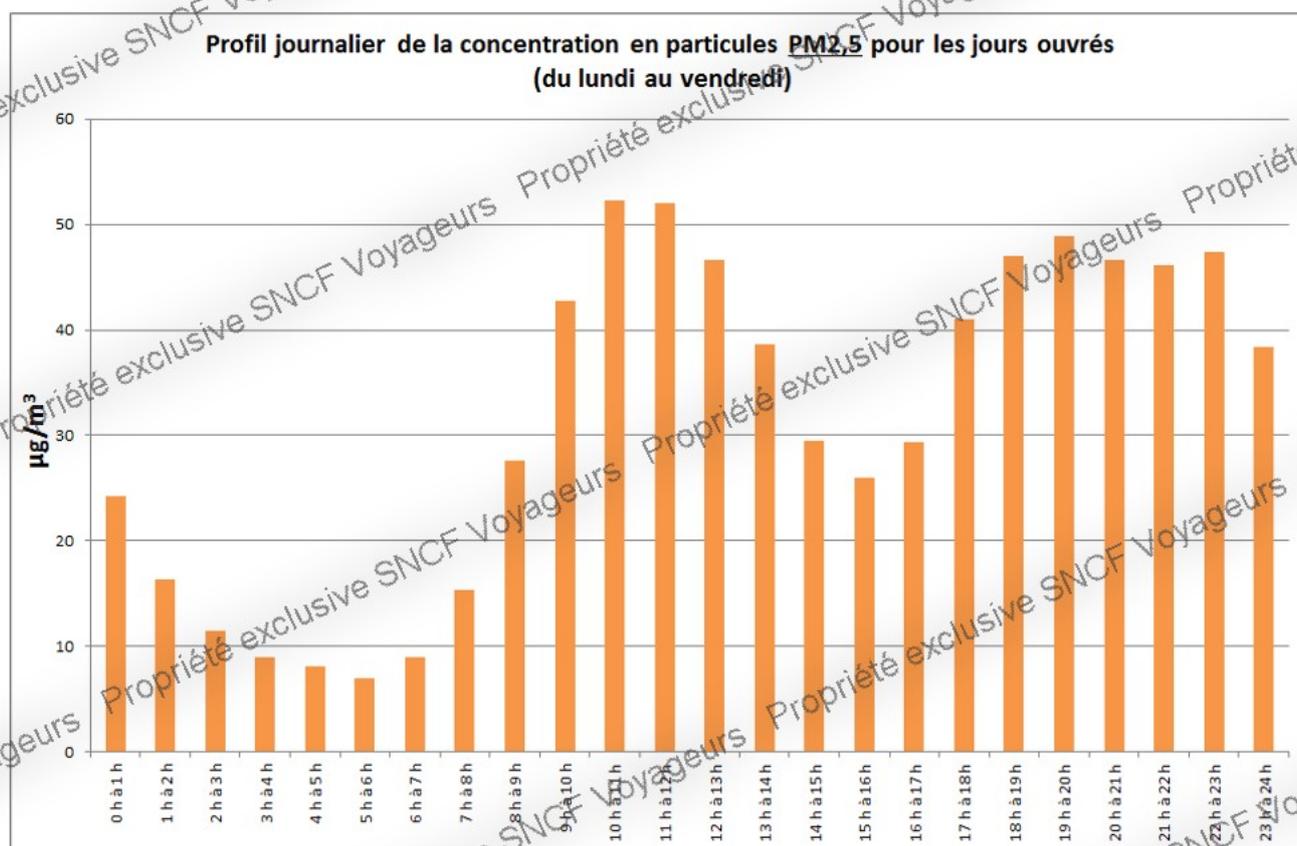


Figure 4

Ces profils journaliers moyens pour les jours ouvrés permettent de distinguer, une pointe du matin (approximativement entre 9h et 13h, avec un maximum sur la période 10h-11h) et une pointe du soir (approximativement entre 18h et 21h, avec un maximum sur la période 19h-20h).

Le profil des concentrations en particules est globalement corrélé au nombre théorique de trains circulant dans cette gare. Comme le montre la figure 5 ci-dessous, il apparaît un décalage entre le pic de circulation et le pic de concentration le matin et le soir. Ceci peut en partie s'expliquer par la moyenne glissante calculée par l'appareil de mesure.

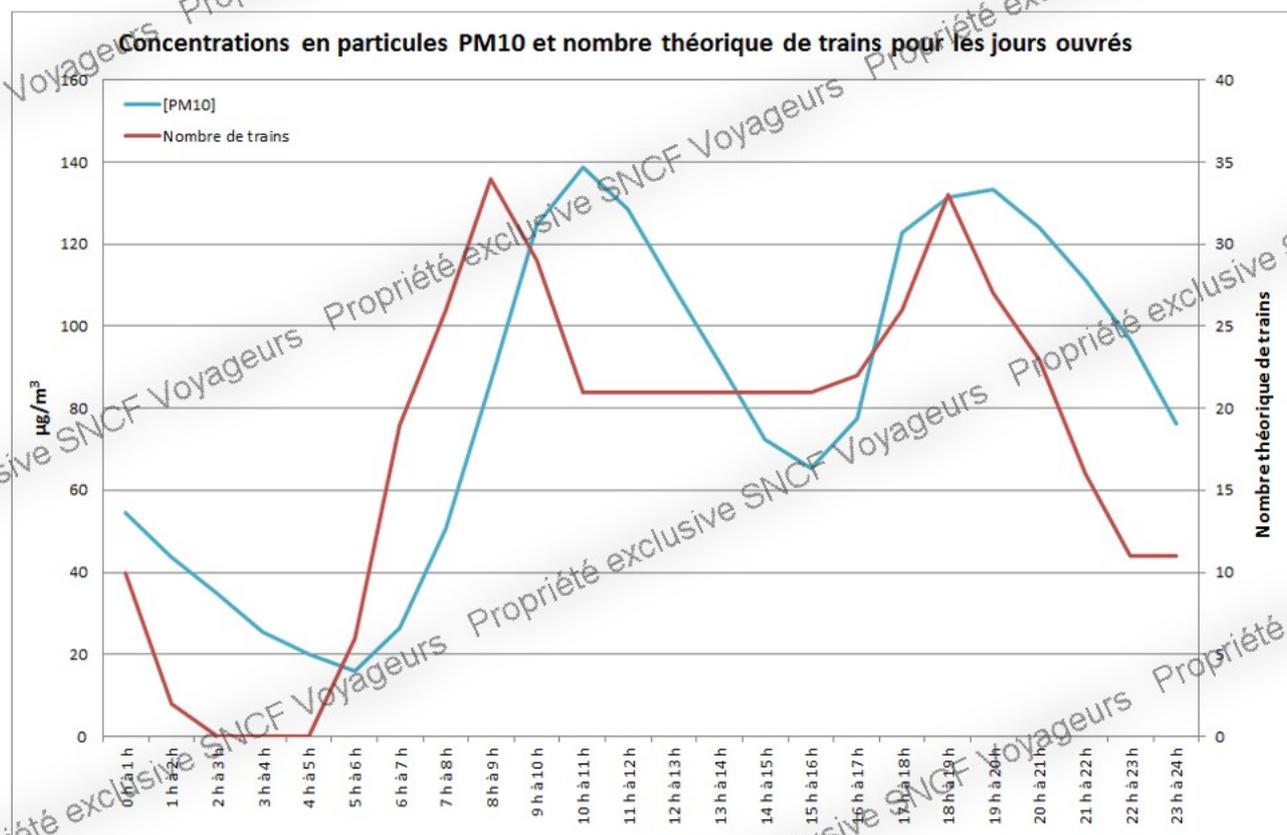


Figure 5

Ces profils journaliers montrent que les concentrations les plus basses sont observées peu après la fermeture de la gare.

Ainsi, il existe une relation entre les teneurs en particules et les activités dans la gare de La Défense. Le trafic ferroviaire est une source importante de particules au vu des concentrations mesurées sur le quai en période d'ouverture de la gare. En période de pointe du matin et du soir, la densité du trafic et des voyageurs est plus importante, ce qui conduit à des émissions de particules plus élevées. Enfin, de par l'activité en gare, les particules émises sont sans cesse remises en suspension dans l'air, lors des passages des trains et des déplacements des voyageurs.

### 3.1.3 - Comparaison avec d'autres gares

Les résultats de concentrations en particules en gare de La Défense ont été comparés avec ceux de deux autres gares RER dans Paris : Magenta (RER E) et Saint Michel Notre Dame (RER C).

Les résultats de mesure pour ces deux gares sont issus de la même méthodologie que pour la gare de La Défense (appareil de mesure, emplacement sur un quai, période).

Cette comparaison est présentée sous forme de boîtes à moustache pour les particules PM10 d'une part et PM2,5 d'autre part.

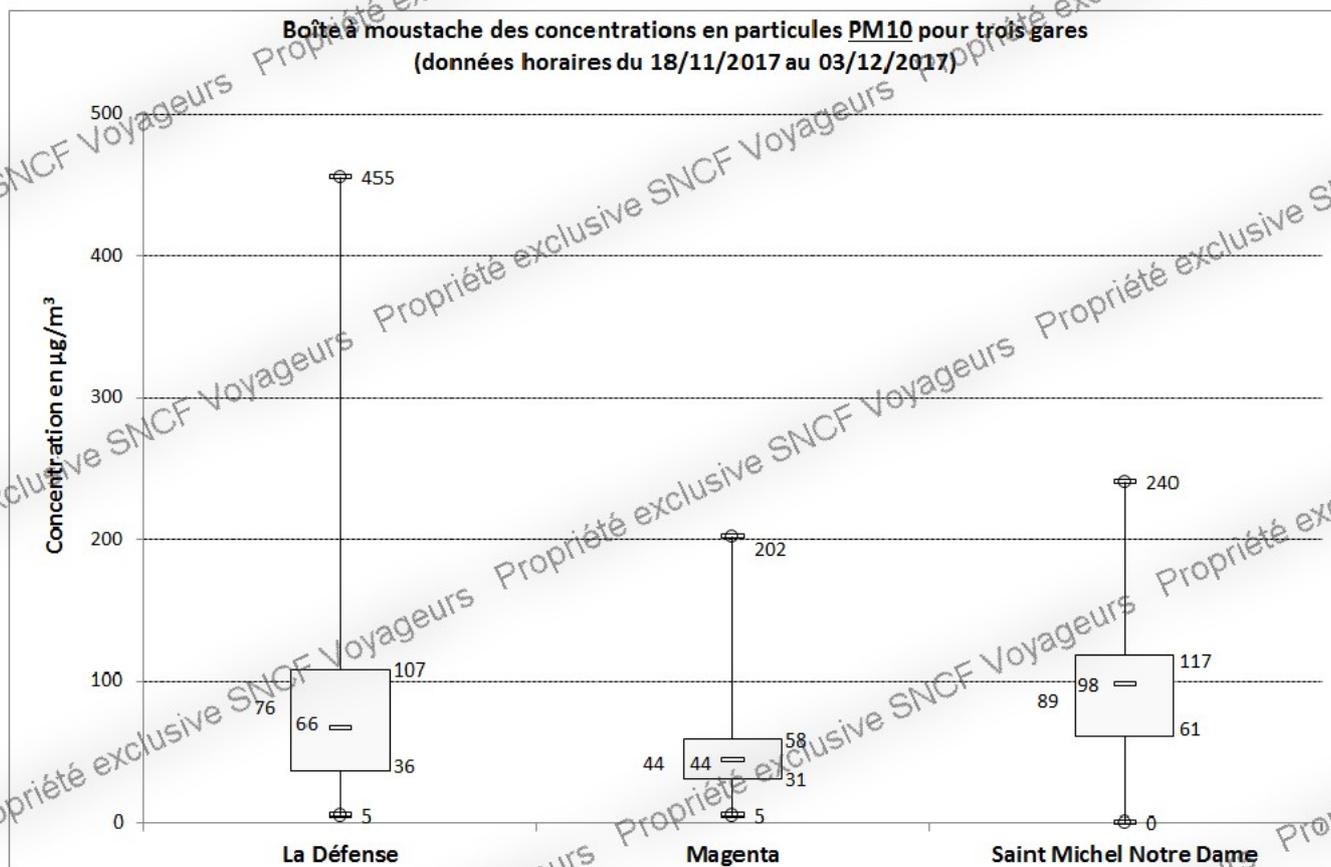


Figure 6

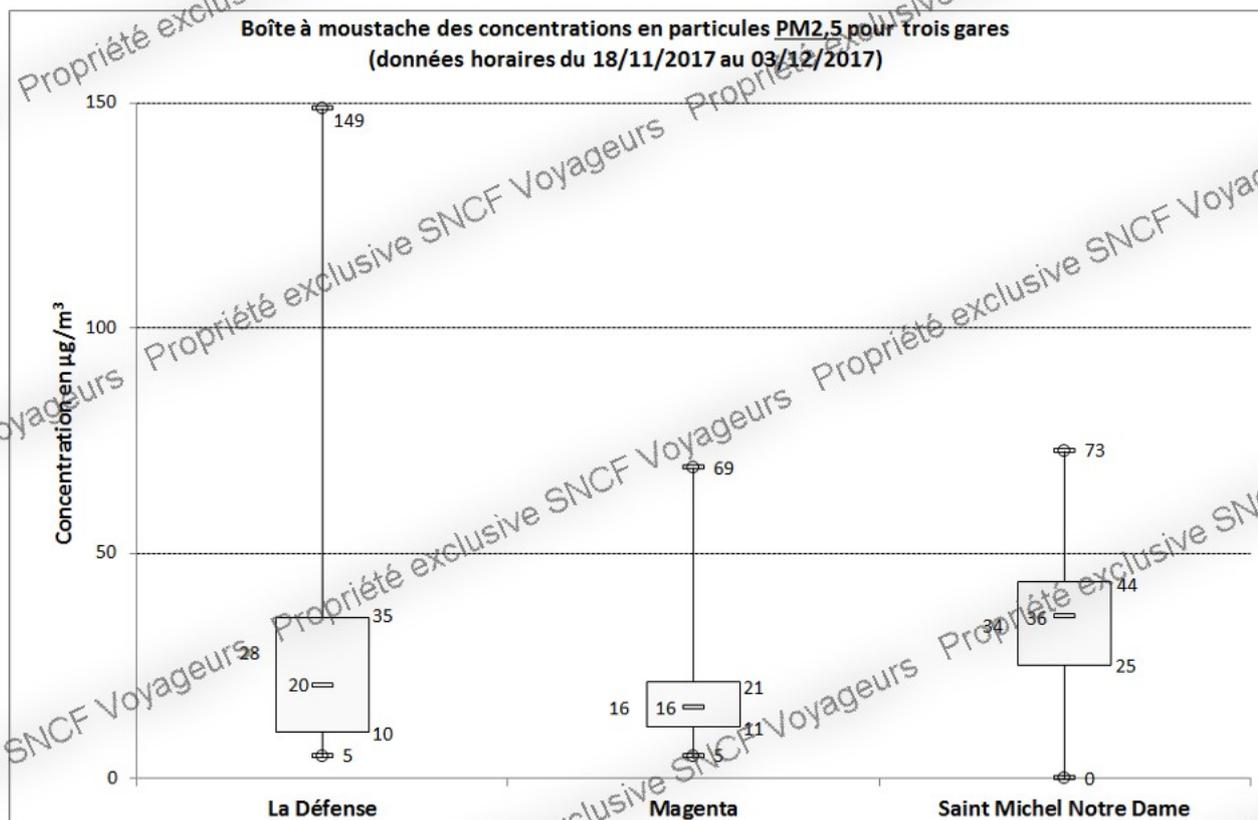


Figure 7

Ces résultats montrent que le niveau d'empoussièrément en PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> en gare de La Défense est inférieur à celui de la gare de Saint Michel Notre Dame et supérieur à celui de la gare de Magenta. En effet, en gare de La Défense, la concentration moyenne en particules est environ 1,2 fois moins élevée qu'en gare de Saint Michel Notre Dame et deux fois plus importante qu'en gare de Magenta.

Les maximums observés en PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> sont plus élevés en gare de La Défense par rapport aux deux autres gares. Quant à la dispersion des concentrations en particules, elle est aussi plus importante pour la gare de La Défense, suivie de la gare de Saint Michel Notre Dame et enfin de la gare de Magenta, pour laquelle la dispersion des résultats est moindre (moins d'écart entre les percentiles 25 et 75).

Concernant la fréquentation en termes de voyageurs et de trains, elle est semblable pour les gares de La Défense et Saint Michel Notre Dame. En effet, la gare de La Défense accueille 51 458 voyageurs montants par jour alors que la gare de Saint Michel Notre Dame en accueille 59 480. Concernant le nombre de trains théoriques par jour, il est de 421 à La Défense contre 477 à Saint Michel Notre Dame pour les jours ouvrés.

De plus, en matière de ventilation, ces deux gares ne sont pas équipées de ventilation mécanique de confort.

La gare de Magenta, pour laquelle les niveaux de particules sont relativement faibles, est plus fréquentée (78 210 voyageurs montants, 432 trains pour les jours ouvrés) que la gare de La Défense. Magenta est une gare très volumineuse et possède une ventilation mécanique optimisée, ce qui explique en grande partie ces concentrations plus basses.

### 3.2 - Concentrations en métaux

#### 3.2.1 - Niveaux observés en gare de La Défense

Les histogrammes ci-dessous montrent la concentration moyenne pour les métaux mesurés en gare de La Défense, par élément métallique pour les cinq jours de mesure.

La figure 8 montre les taux de concentration moyens pour les dix métaux mesurés.

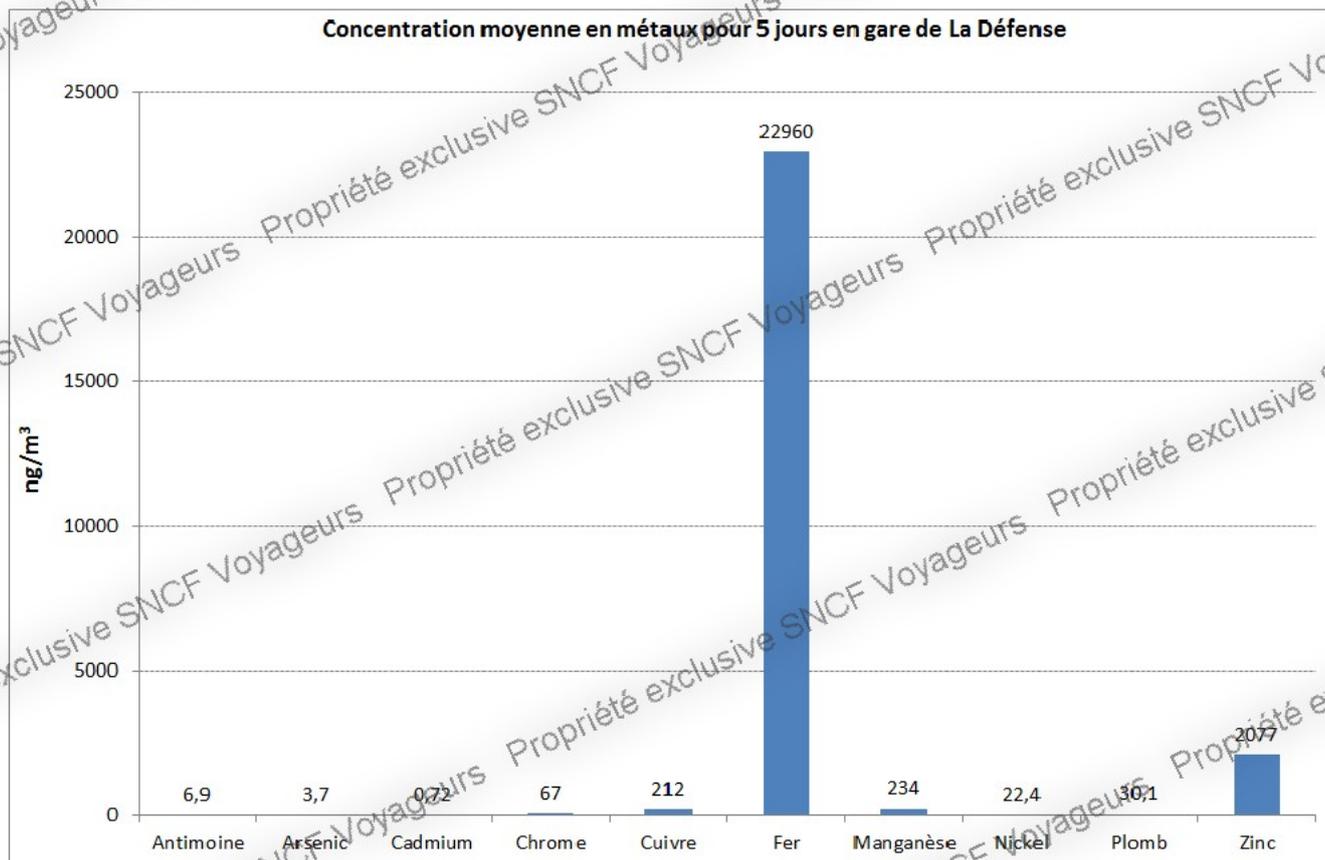


Figure 8

En moyenne, le fer représente 16 % de la composition des particules PM10. Parmi les dix métaux analysés, le fer est très largement prédominant (89,6 % de fer et 10,4 % d'autres métaux). Ceci est caractéristique des enceintes ferroviaires souterraines.

Ces particules riches en fer sont principalement issues d'arrachement (contact roue-rail) et de friction (roue-frein et système d'alimentation électrique).

La figure 9 montre les concentrations pour les neuf autres métaux, excepté le fer, afin de rendre le graphique plus lisible.

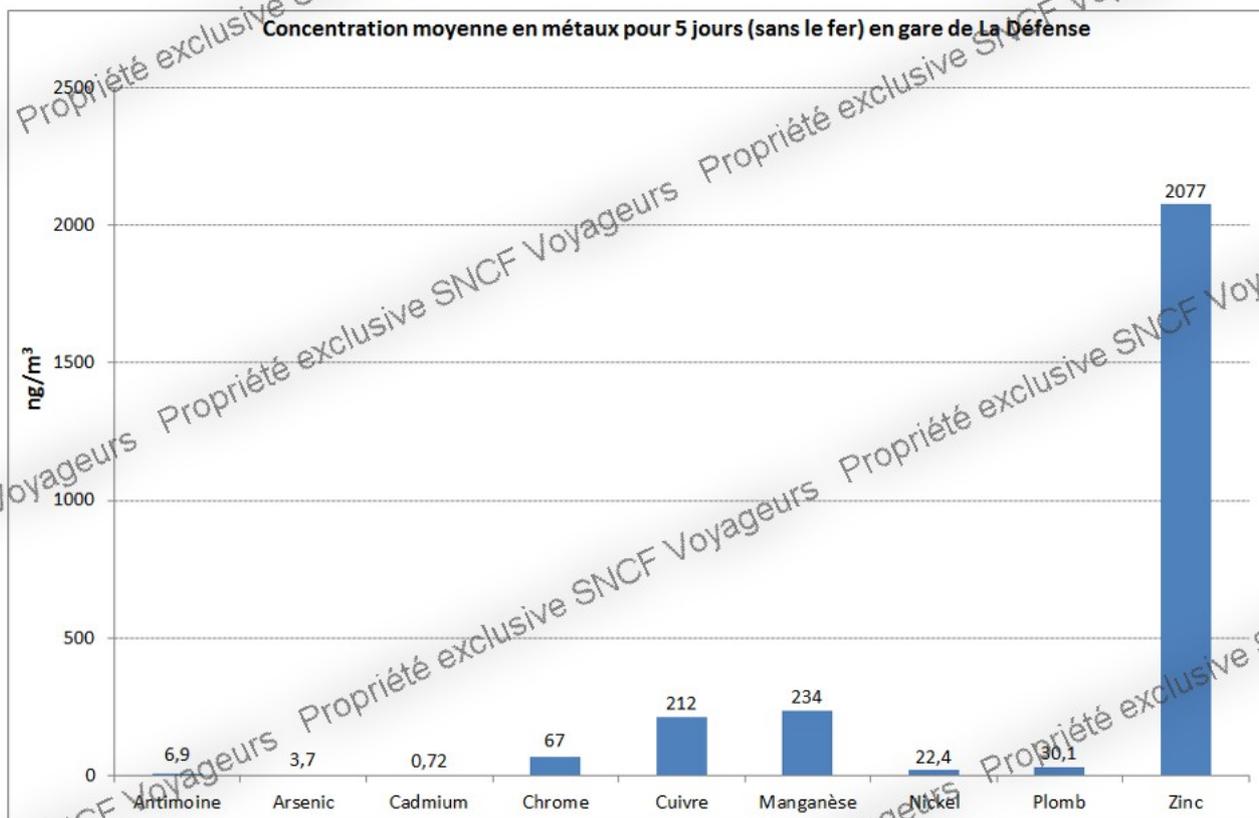


Figure 9

Les éléments majoritaires après le fer sont le zinc, le manganèse et le cuivre. Dans des proportions moindres, viennent ensuite le chrome, le plomb et le nickel.

En complément, la figure 10 reprend la répartition moyenne en pourcentage de chacun des dix métaux analysés pour les cinq journées de mesure.

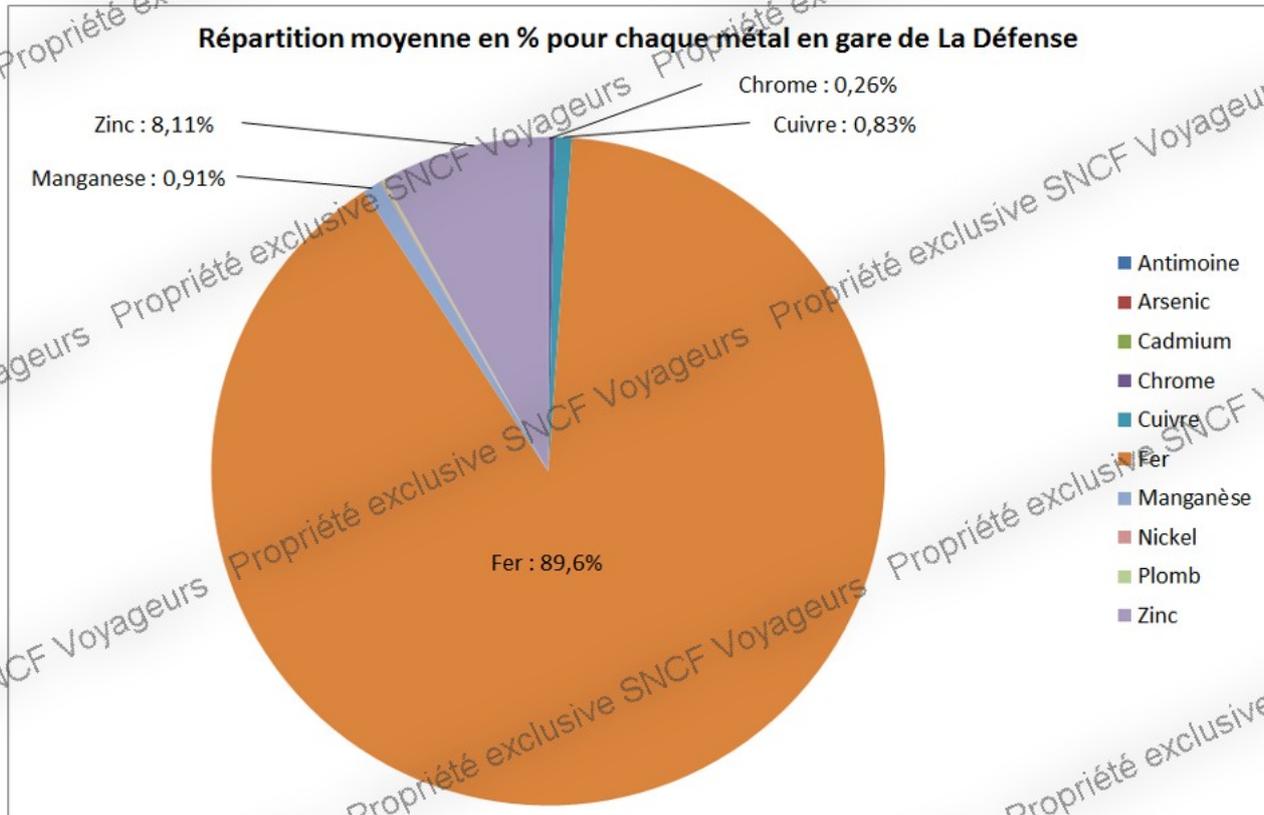
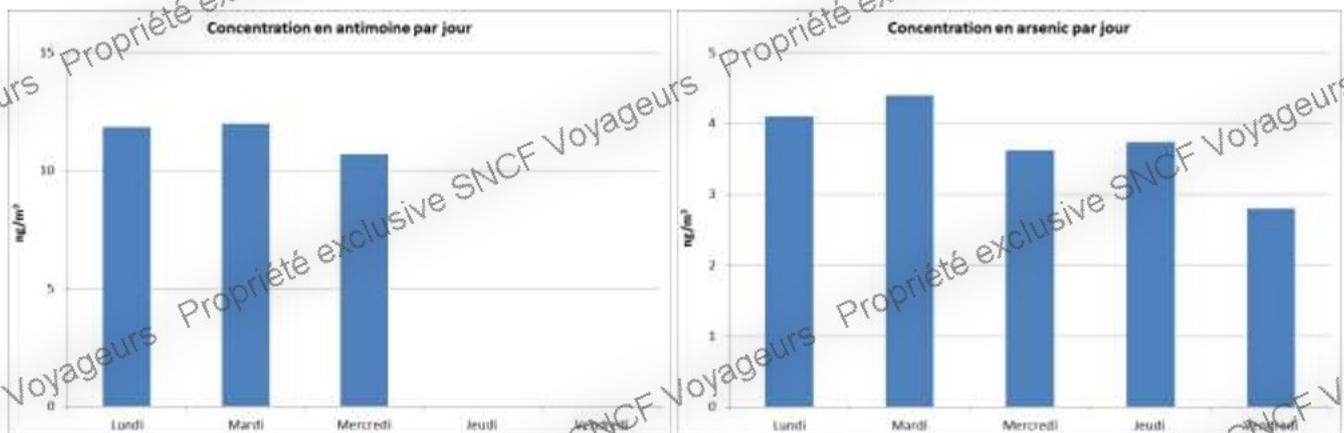


Figure 10

La littérature montre que le chrome et le nickel peuvent être présents dans l'acier des roues et des rails. Il en est de même pour le manganèse, qui pourrait aussi être issu du freinage. Concernant le cuivre, il est possible qu'il soit lié au frottement du système d'alimentation électrique. Pour les autres métaux, ils sont probablement issus de l'exploitation ferroviaire mais les sources n'ont pas été clairement identifiées dans cette gare.

### 3.2.2 - Variabilité temporelle

Les histogrammes ci-dessous montrent les concentrations mesurées par élément pour chacune des cinq journées. Il est important de noter que les échelles diffèrent selon les représentations graphiques.



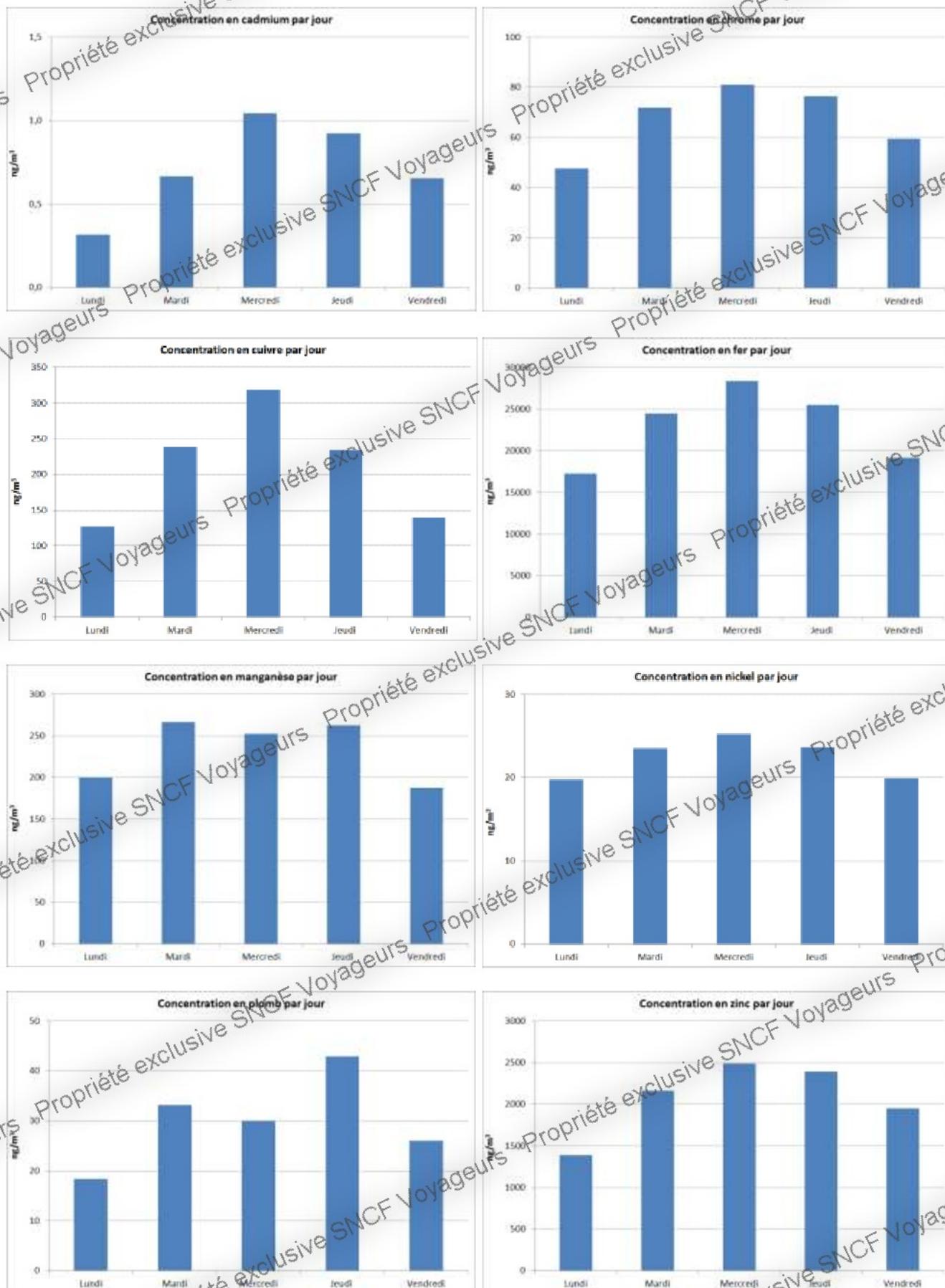


Figure 11

Les concentrations peuvent être légèrement variables d'un jour à l'autre. Les proportions de chacun des éléments restent tout de même relativement stables tout au long de la période de mesure.

### 3.3 - Concentrations en dioxyde de carbone

La concentration en dioxyde de carbone, la température et l'humidité relative en fonction du temps sont présentées sur la figure 12 ci-dessous pour l'ensemble de la durée de la campagne de mesure.

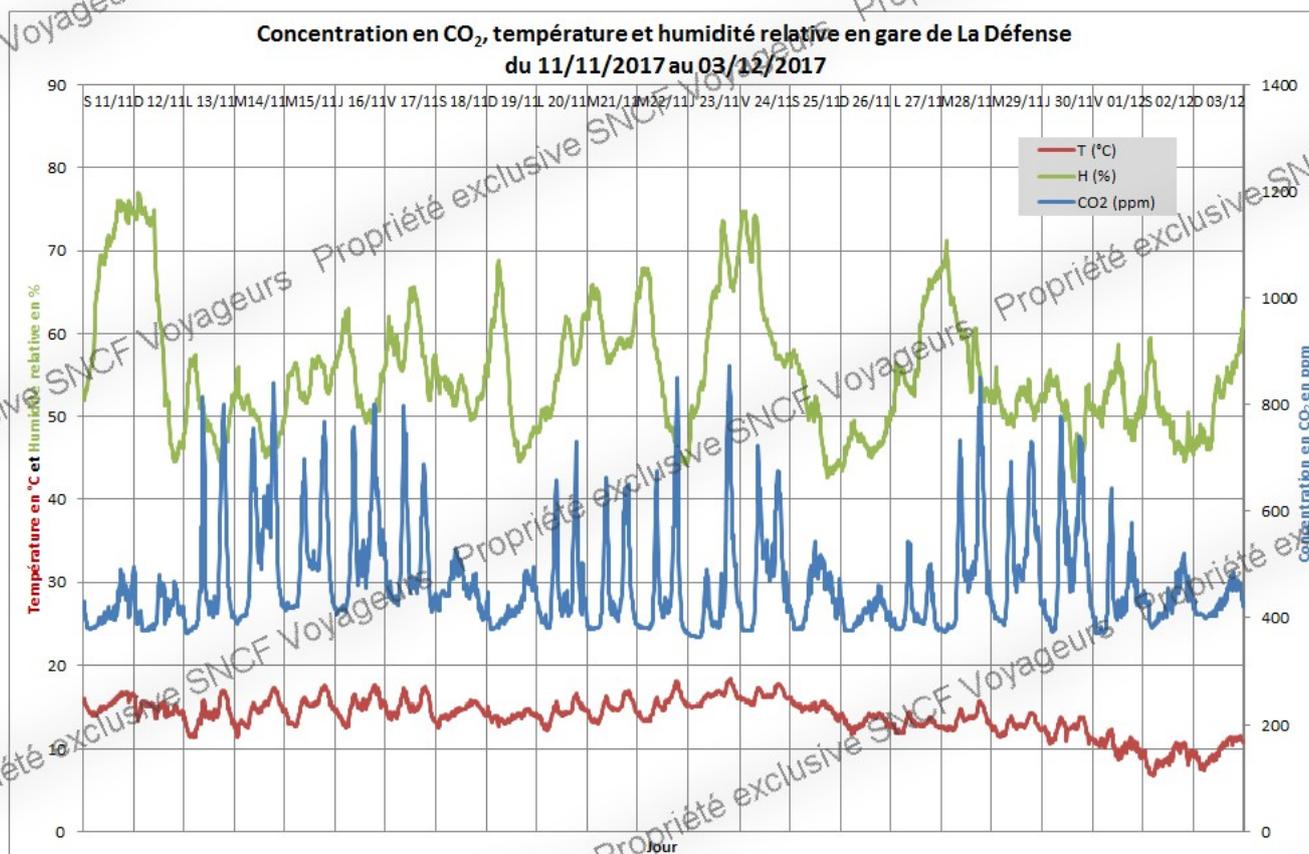


Figure 12

Pendant cette période de mesure, la température sur le quai de la gare de La Défense est en moyenne de 14°C. L'humidité relative était comprise entre 43 et 77 %.

Concernant le dioxyde de carbone, l'évolution globale de sa concentration est similaire à celle des concentrations en particules; à savoir une concentration généralement plus faible la nuit et les jours de week-end et deux pointes en journée du lundi au vendredi. Ces profils représentent la fréquentation des voyageurs sur le quai de la gare.

#### **4 - CONCLUSION**

L'Agence d'Essai Ferroviaire a réalisé une campagne de mesure de qualité de l'air au sein de la gare de La Défense. Elle vise à caractériser l'air intérieur de la gare sur le volet santé publique. Les mesures ont porté sur les concentrations en particules PM10 et PM2,5, en métaux et en dioxyde de carbone pendant deux semaines du 18 novembre au 03 décembre 2017.

Lors de cette période de mesure, la concentration moyenne en gare de La Défense a été de  $76 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les PM10 et  $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les PM2,5. Il a été mis en évidence une relation entre les teneurs en particules, la fréquentation de la gare et le trafic ferroviaire. Ce dernier est une source importante de particules au vu des concentrations mesurées sur le quai en période d'ouverture de la gare.

Le niveau d'empoussièremment en PM10 et PM2,5 en gare de La Défense est légèrement inférieur à celui de la gare de Saint Michel Notre Dame et supérieur à celui de la gare de Magenta.

Concernant les métaux, le fer est très largement prédominant, ce qui est caractéristique des enceintes ferroviaires souterraines. Les éléments majoritaires après le fer sont le zinc, le manganèse et le cuivre.

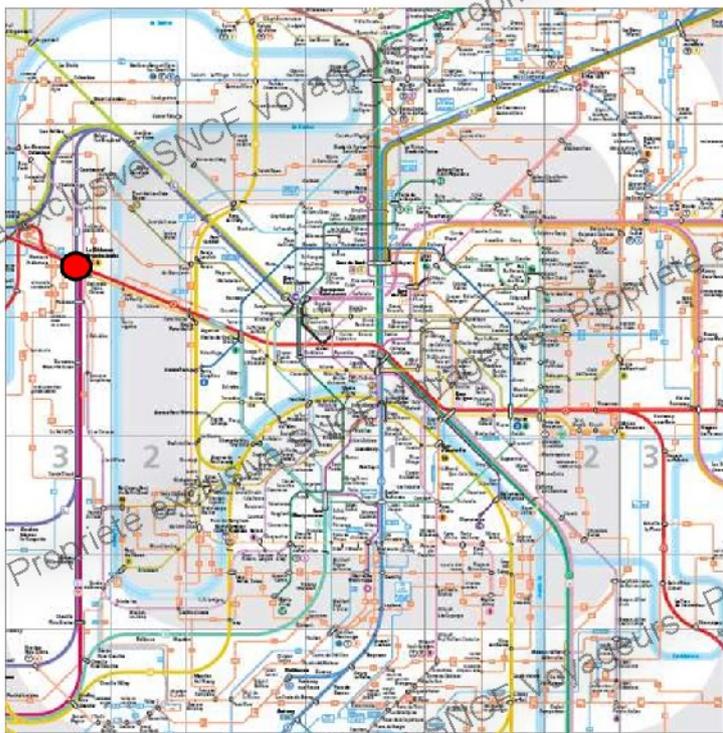
# **ANNEXES**

## **RAPPORT**

### **CAMPAGNE DE MESURE DE QUALITE DE L'AIR PENDANT DEUX SEMAINES EN GARE DE LA DEFENSE**

## SOMMAIRE DES ANNEXES

<b>ANNEXE 1 : Descriptif de la gare de La Défense</b> .....	<b>23</b>
---	-----------



Plan 1 : Plan régional du réseau francilien

#### Positionnement

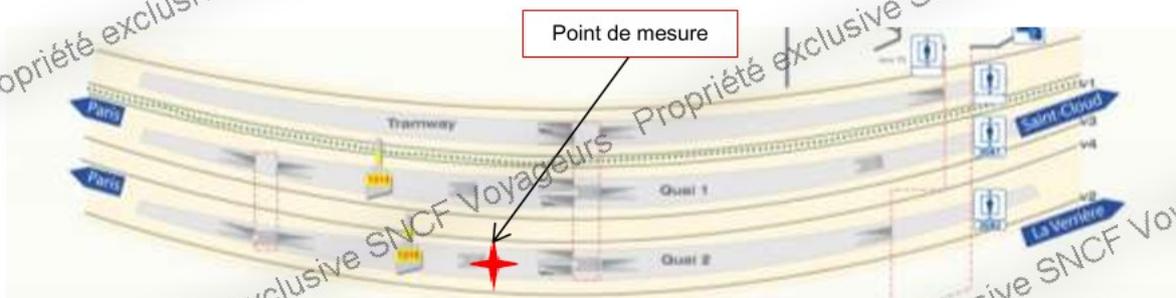
La gare de La Défense est desservie par les lignes L (terminus) et U du Transilien, mais aussi par le RER A, la ligne 1 du métro et la ligne 2 du tramway (cf. point rouge sur le plan 1).

Les lignes L et U se situent au même niveau que la ligne 2 du tramway. Le RER A et la ligne 1 du métro se situent à des niveaux inférieurs.

#### Caractéristiques architecturales

La gare de La Défense est souterraine. Les deux quais et quatre voies des lignes L et U du Transilien se situent un niveau au-dessus du bureau de vente et des locaux des agents commerciaux.

Cette gare n'est pas équipée de ventilation mécanique de confort.



Plan 2 : Plan représentant les quais et voies (tramway T2 et lignes L et U)



Photographie 1 : Emplacement de la baie de mesure sur le quai n°2

### Matériel roulant

Le matériel circulant en service commercial en gare de La Défense est constitué des types Z 6400 et Z 50000 pour la ligne L du Transilien et des types Z 8800 pour la ligne U. Concernant la ligne 2 du tramway RATP, le type de matériel roulant est le Citadis 302.

Pour les lignes L et U, en conditions normales de circulation, le nombre de trains en heure de pointe est au maximum de 34 par heure ; il est globalement de 21 en heure creuse. Lors de la campagne de mesure, les trains ont circulé de 05h10 à 01h10.

### Fréquentation des voyageurs

En termes de fréquentation, la partie SNCF de la gare accueille chaque jour ouvré en moyenne 51 458 personnes (nombre de voyageurs montants en 2016).